

学校编码: 10384

密级_____

学号: 19920081152968

厦门大学

硕士学位论文

基于激光焊接的非本征光纤法布里-珀罗
传感头设计

The Design of Extrinsic Fabry-Perot Interferometric
Optical Fiber Sensing Head (EFPI) by Laser Welding

叶小娟

指导教师姓名: 黄元庆 教授

专业名称: 测试计量技术及仪器工程

论文提交日期: 2011 年 5 月

论文答辩日期: 2011 年 6 月

学位授予日期 2011 年 6 月

2011 年 6 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

随着光纤传感器的发展和应用领域的扩展,对光纤传感器的稳定性及抗环境干扰要求越来越高,其中光纤法布里—珀罗传感器以其体积小、抗环境干扰能力强、良好的稳定性、灵敏度高等优势成为当前光纤传感器发展最为迅速的研究领域之一。本文的目的是通过激光焊接非本征光纤法布里—珀罗传感器传感头的研究,探索采用激光技术制造光纤传感器的新工艺。论文主要完成了以下几方面的工作:

(1) 本文充分研究了各类光纤传感器的结构及光纤法布里—珀罗传感器现状。详细阐述了 F-P 腔的工作原理,并比较各类光纤法布里—珀罗传感器的结构、特点、腔内损耗影响因素和主要应用领域,其中非本征型光纤法布里—珀罗传感器(EFPI)具有较大的优势,因此选定 EFPI 传感器作为学位论文研究课题。

(2) 由于利用激光焊接加工技术制作出的非本征型光纤法布里—珀罗传感器传感头性能更好、耐温性更高,因此本文选择该技术进行传感头的制作。

(3) 本文详细介绍了激光焊接的机理和特点,了解激光加工的工艺参数。设计了用于制作传感头的激光焊接光学系统和控制系统并利用该系统完成对光纤和准直毛细管进行熔接加工,通过比对实验测试各激光焊接系统的参数下的焊接效果,得出优化的加工工艺参数。

(4) 通过研究分析本课题的非本征型光纤法布里—珀罗传感器的腔长、灵敏度及端面镀膜的工艺分析,制作出非本征型光纤法布里—珀罗传感器传感头,最后对制作出的传感头进行实验测试,将传感器输出信号进行解调进而得到腔长变化与光强变化关系。

本文最后提出非本征型光纤法布里—珀罗传感器在制作方面需要改进的地方以及今后的研究方向。

关键词: 光纤传感器 法布里—珀罗腔 传感头 激光焊接

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

With the development and the expansion of application area of fiber optic sensor, the stability and resistance of environmental interference have to meet more strict demands. Fabry-Perot Interferometric Optical Fiber Sensor is one of the quickest developing research fields of fiber optic sensors, owing to its attractive advantages of small size, high resolution, and strong ability to resist environmental interference, good stability, high sensibility, and so on. In this thesis, the purpose is to manufacture the sensing head of extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensor using the laser welding technology. The specific research works completed in this thesis are as follows:

(1) The first is expatiated the principle of fabry-perot cavity, and then draws the principle of extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensor. This thesis focuses on the structure design of extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensor. Having studied the loss of cavity and its influence, the requirements on the design of sensing head could be analyzed in the project.

(2) The extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensing head manufactured by the laser welding technology has better characteristics and better resistance to high temperature.

(3) A detailed description of mechanism and characters of the laser welding is provides. The parameters of laser processes can be calculated according to the characteristics and dimension of fiber and capillary. A laser welding optical system and control system have been designed, which is used for making the sensing head. The fiber and capillary have been welded using the systems. The contrast experiments with different parameters of laser welding processes are taken for optimum process parameters.

(4) After the analysis of the length of cavity, sensitivity and processing of face coating of the extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensor; in this research,

we manufacture and test the extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensing head. The output signal of the sensor has been demodulated to draw the curve relational between the length variation of cavity and light intensity.

In summary, we put forward the improvement and measures in manufacturing the extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber, and the study direction.

Keywords: fiber optic sensor; fabry-perot cavity; sensing head; laser welding

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 光纤传感器的分类.....	2
1.3 光纤法布里 — 珀罗传感器的研究概况.....	5
1.4 课题研究意义及主要内容.....	6
1.4.1 课题研究的意义.....	6
1.4.2 课题研究的主要内容.....	7
第二章 光纤法 — 珀传感器工作原理及传输损耗研究.....	8
2.1 光纤法 — 珀传感器原理.....	8
2.2 光纤法 — 珀传感器的分类.....	12
2.2.1 本征型光纤 Fabry-Perot 干涉 (IFPI) 传感器	12
2.2.2 非本征型光纤 Fabry-Perot 干涉 (EFPI) 传感器	14
2.2.3 在线型光纤 Fabry-Perot 干涉 (ILFPI) 传感器.....	16
2.3 光纤 EFPI 传感器法—珀腔内的传输损耗及其影响.....	17
2.4 本章小结	20
第三章 光纤 EFPI 传感器法—珀腔激光焊接系统设计及控制.....	21
3.1 激光焊接的机理和特点	21
3.1.1 激光焊热传导方程.....	23
3.1.2 激光焊接工艺参数的选择.....	29
3.2 CO ₂ 激光焊接系统.....	32
3.2.1 激光焊接光学系统.....	33
3.2.2 激光焊接控制系统.....	37

3.3 光纤焊接实验测试	42
3.4 本章小结	43
第四章 传感头设计制作研究及实验	45
4.1 光纤 F-P 传感头的设计及制作	45
4.1.1 传感头的设计	45
4.1.2 传感头的制作	48
4.2 光纤 F-P 传感器的解调	49
4.2.1 强度解调	49
4.2.2 相位解调	50
4.3 传感器实验仿真效果及分析	51
4.4 本章小结	53
第五章 结论与展望	54
5.1 主要结论	54
5.2 后续研究工作展望	54
参 考 文 献	56
致 谢	60
硕士期间发表的论文	61

Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Classification of fiber optical sensor	2
1.3 Research of fabry-perot interferometric optical fiber sensor.....	5
1.4 Research significance and main contents.....	6
1.4.1 Significance of Research	6
1.4.2 Main contents of Research.....	7
Chapter 2 Principle of fabry-perot interferometric optical fiber sensor and research of transmission loss	8
2.1 Principle of fabry-perot interferometric optical fiber sensor	8
2.2 Classification of fabry-perot interferometric optical fiber sensor	12
2.2.1 Intrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensor	12
2.2.2 Extrinsic fabry-perot interferometric optical fiber sensor	14
2.2.3 In-line fabry-perot interferometer optical fiber sensor	16
2.3 Loss of cavity and influence of EFPI optical fiber sensor	17
2.4 Summary.....	20
Chapter 3 Design and control of laser welding system of EFPI optical fiber F-P cavity	22
3.1 Mechanism and characters of laser welding	22
3.1.1 Heat transmit equations of laser welding	24
3.1.2 Processing parameters of laser welding	30
3.2 CO ₂ laser welding system	33
3.2.1 Laser welding optical system.....	34

3.2.2 Laser welding control system	38
3.3 Experiment of fiber welding	43
3.4 Summary.....	44
Chapter 4 Sensing head design and experiment	46
4.1 Design and manufacture of Fabry-Perot interferometric optical fiber sensing head.....	46
4.1.1 Sensing head design	46
4.1.2 Sensing head manufacture	49
4.2 Demodulation of Fabry-Perot interferometric optical fiber sensor	49
4.2.1 Intensity demodulation	49
4.2.2 Phase demodulation.....	50
4.3 Experiment of sensor	52
4.4 Summary.....	54
Chapter 5 Conclusion and outlook	55
5.1 Conclusion	55
5.2 Study direction and outlook.....	55
References	56
Acknowledgement.....	60
Publications.....	61

第一章 绪论

1.1 引言

1966 年华裔科学家“光纤之父”高琨和 George A. Hockham 首先提出光纤可以用于通讯传输的设想，随后二十多年，人们对光纤结构及材料进行改进，制成低损耗光纤，从此光纤通讯进入了飞速发展的阶段。在光纤通讯技术迅猛发展的带动下，光纤传感器作为传感器家族中年轻的一员，凭借着其特有的性质解决了许多行业一直以来的技术难题，已在现代的信息社会起着重要的作用，具有广泛的市场应用前景，光纤传感器实用化的开发已成为整个领域发展的热点和关键。每年由美国光学工程师学会 (OSA) 主办的光纤传感国际会议 (OFS) 及时报道着光纤传感领域的最新进展，并对光纤传感及其相应技术进行有益的研讨。

光纤传感技术作为一种新型的传感技术，主要是利用光波作为感知信息和传输信息的载体，光纤为媒质，将被测量信号（如温度、压力、应变等）转化为光纤中传输的光波信号（如振幅、相位、波长、强度和偏振态等），光纤将受外界信号影响的的光波传输到光探测器进行检测，将被测信号从出射光波中提取出来，即可得到外界信号的信息。图 1.1 为光纤传感技术的原理示意图^[1]。

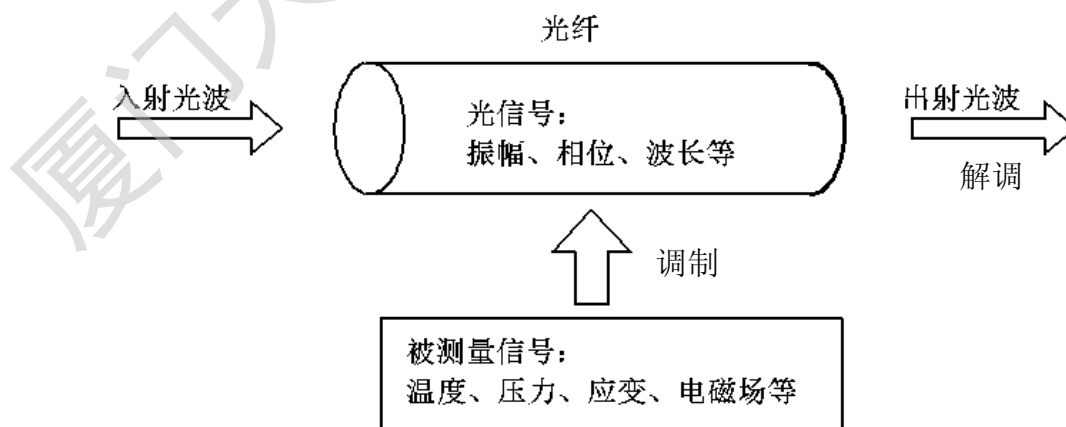


图 1.1 光纤传感技术原理图

作为被测量信号载体的光波和作为光波传播媒质的光纤，具有一系列独特的、与其他载体和媒质难以比拟的优点，所以光纤传感器与各类传统的传感器相比具有一系列独特的优点，主要表现在：

(1) 光波不产生电磁干扰，也不会被电磁干扰，易为各类光探测器件接收，可方便地进行光电或电光转换，易与各种电子设备相匹配；

(2) 光纤工作的频带宽，动态范围大，是一种优良的低损耗传输线；

(3) 一定条件下，光纤特别容易接受被测量或场的加载，是一种很好的敏感元件；

(4) 光纤本身不带电，体小质轻，易弯曲，抗电磁干扰、抗辐射性能好，耐腐蚀、耐潮、电绝缘性好，特别适合于易燃、易爆、强电磁干扰及空间受严格限制等恶劣环境使用。

这些优点很好的补偿了光纤传感器造价高的缺点，但是随着光纤传感器所需的组成部件如激光二极管、光纤和光电探测器等技术的发展以及价格的降低，使得这一缺点正在消失。从 1979 年一个激光二极管价格为\$3000，而使用寿命是一个小时，到现在激光二极管的价格是几块使用寿命是上百甚至是上千小时的时间，光纤的价格也降低很多，并且性能得到很大的提高。光纤传感器配件性能的以及提高价格的降低使得光纤传感器能够在压力、温度、磁场、速度等各种测量领域发展并代替传统的传感器。因此，经过二十多年发展，光纤传感技术已取得很大的进步，并在建筑、高速公路、航空等众多领域用于测量压力、应变、温度、流场等。

1.2 光纤传感器的分类

光纤传感器可从传感原理、被测对象及信号被调制方式等不同角度分类^[2]。

光纤传感器依据传感原理可分为：传光型传感器和传感型传感器。在传光型光纤传感器中，光纤只是作为光的传输媒质，是依靠其它敏感元件来完成对被测信号感觉的，传感器的出射光纤和入射光纤是不连续的，两者之间的调制器是光谱变化的敏感元件或其它性质的敏感元件。因此这类光纤传感器无需特殊光纤，容易实现，成本低，但是灵敏度较低。在传感型光纤传感器中光纤兼有对被测信号的敏感及光信号的传输作用，会将信号的“感”和“传”结合起

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库